Quantitative Untersuchungen über stereoskopische Nachbilder von successiv dargebotenen Haploskopbildern

von

Uta-Barbara Reek

aus Markkleeberg

Aus der Universitäts-Augenklinik Erlangen

Direktor: Prof. Dr. Eugen Schreck

Quantitative Untersuchungen über stereoskopische Nachbilder von successiv dargebotenen Haploskopbildern

Inaugural-Dissertation
zur
Erlangung der Doktorwürde
der
Hohen Medizinischen Fakultät
der
Friedrich-Alexander-Universität
zu
Erlangen - Nürnberg

vorgelegt von
Uta-Barbara Reek
aus Markkleeberg

Gedruckt mit Erlaubnis der Medizinischen Fakultät
der Universität Erlangen-Nürnberg

Dekan: Prof. Dr. med. Wolf-Dieter Keidel
Referent: Prof. Dr. med. Robert Siebeck
Korreferent: Prof. Dr. med. Eugen Schreck

Tag der mündlichen Prüfung: 21. Dezember 1964

Es sei mir erlaubt, dem Direktor der Augenklinik der Universität Erlangen-Nürnberg, Herrn Professor Dr. med. E. Schreck, für die Überlassung des Themas, die Arbeitsmöglichkeit an seinem Hause und die Übernahme des Korreferates ergebenst zu danken.

Mein ganz besonderer Dank gilt Herrn Professor Dr. med. R. Siebeck, Augenklinik der Universität Erlangen-Nürnberg, für seine wertvolle Unterstützung bei der Durchführung und Abfassung der Arbeit, sowie für die Erstattung des Referates.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41538102_0071

Inhaltsverzeichnis

		Seite
1	Die Stereoskopie	
1 1	Das Wesen der Stereoskopie	1
1 2	Die Querdisparation	2
1 3	Das Panumsche Areal	3
2	Das Nachbild	
2 1	Das Wesen des Nachbildes	4
2 2	Die Erzeugung des Nachbildes	4
2 3	Das räumliche Nachbild	5
3	Eigene Untersuchungen	
3 1	Versuchsanordnung	6
3 2	Berechnung der Querdisparation	9
3 3	Gang der Untersuchung	13
4	Ergebnisse	
4 1	Dauer bis zum Eintritt der Nachbilder	14
4 2	Abhängigkeit des räumlichen Nachbildes von der Art der Beleuchtung	15
4 3	Dauer des Nachbildes	15
4 4	Abhängigkeit der Plastizität des Nachbildes vom Motiv	15
4 5	Abhängigkeit der Plastizität der Nachbilder von der Größe der Querdisparation	16
5	Diskussion	19
6	Zusammenfassung	21
7	Literaturübersicht	22

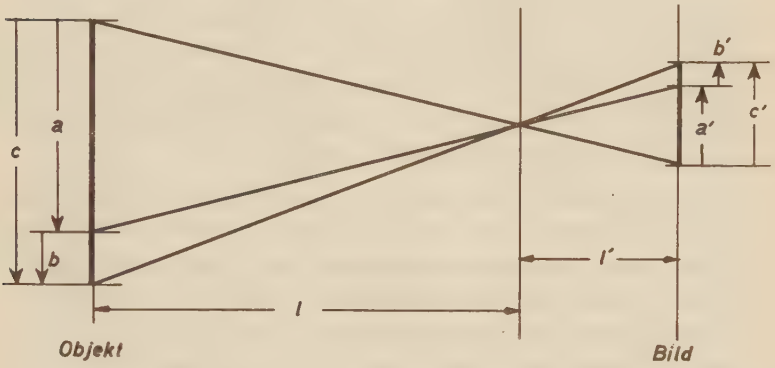
V o r w o r t

Die binoculare Parallaxe ist die Grundlage des stereoskopischen Sehens und damit ein wesentlicher Bestandteil des räumlichen Sehens überhaupt. Da es eine absolute Ruhestellung der Augen nicht gibt, wirken stets sensorische und motorische Momente - binoculare Querdisparation und Konvergenz der Sehachsen - gleichberechtigt beim stereoskopischen Eindruck zusammen (SIEBECK). Eine Ausschaltung des motorischen Anteils mit dem Zweck, den sensorischen Anteil isoliert zu betrachten, kann entweder tachistoskopisch oder im Nachbild erfolgen. Die Untersuchung im Nachbild ermöglicht es zudem, die haploskopischen Einzelbilder nacheinander darzubieten, so daß während der Exposition noch gar kein räumliches Objekt dargeboten wird, der stereoskopische Eindruck also erst durch die Nachbildentwicklung entstehen kann.
Die folgenden Untersuchungen wurden unternommen, um die Bedingungen, unter denen sich stereoskopische Nachbilder erzeugen lassen, festzustellen.

D i e S t e r e o s k o p i e

Das Wesen der Stereoskopie

Die Abbildung eines räumlichen Objektes in eine Ebene erfolgt im allgemeinen nach den Gesetzen der Zentralprojektion:



Entnommen aus Siebeck:
Optik des menschlichen Auges

Abb. 1

Ein fester Punkt, das Projektionszentrum, wird mit sämtlichen Objektpunkten durch eine Gerade verbunden. Bringt man dieses Strahlenbündel mit einer Ebene bzw. Fläche, der Projektionsfläche, zum Schnitt, so bilden die Schnittpunkte insgesamt eine geometrische Projektion des Gegenstandes. Es genügt für viele Zwecke, auch die Abbildung im Auge auf die geometrische Projektion zu reduzieren - dann gilt die Pupillenmitte als Projektionszentrum. Wo man sich dann die Projektionsebene denkt, ist von untergeordneter Bedeutung.

Beim Sehen mit zwei Augen haben wir es jedoch mit zwei Zentralprojektionen zu tun, die infolge des endlichen Pupillenabstandes - durchschnittlich 62 mm - voneinander etwas verschieden sind. Wenn ein dreidimmensionales Objekt

auf den Netzhäuten beider Augen abgebildet wird, so unterscheiden sich diese beiden Bilder nach den Gesetzen der geometrischen Projektion. Der Unterschied zwischen diesen beiden Bildern, von HELMHOLZ als stereoskopische Parallaxe oder von HERING allein, auf die Netzhaut bezogen, als Querdisparation bezeichnet, bildet die wesentliche physiologische Grundlage für das räumliche Sehen. Die Verschmelzung oder Fusion der beiden um die stereoskopische Parallaxe von einander abweichenden Netzhautbilder in der Sehrinde des Großhirns vermittelt dann den räumlichen Eindruck des Objektes. Voraussetzung dafür ist ein intaktes Binokularsehen dessen höchstes Kriterium ja die Stereopsis darstellt.

Doch auch monokular kann ein räumlicher Eindruck vermittelt werden. Die scheinbare Größenänderung (Perspektive), der Vergleich mit bekannten Größen, Helligkeits- Farb- und Kontrastunterschiede in der Ferne, Dunst und Nebel, sowie die Bewegungsparallaxe vermitteln auch einem tatsächlich oder funktionell Einäugigen eine für viele Zwecke ausreichende räumliche Orientierung.

Die Querdisparation

Objekte, die sich in großer Entfernung - etwa über 1 km - befinden, werden praktisch ohne Parallaxe abgebildet; ihre Projektionen unterscheiden sich also nicht voneinander. Bei parallelstehenden Blicklinien werden sie außerdem auf deckungsgleichen bzw. miteinander korrespondierenden Netzhautpunkten abgebildet. Ein näher gelegener Punkt erscheint dann jedem Auge etwas nach nasal verschoben, wird also auf den Netzhäuten in temporaler Querdisparation abgebildet. Der Winkel, den die Verbindungsgeraden zwischen diesem näher gelegenen Punkt und den Pupillenmitten beider Augen einschließen, wird als absolute Parallaxe dieses Punktes bezeichnet.

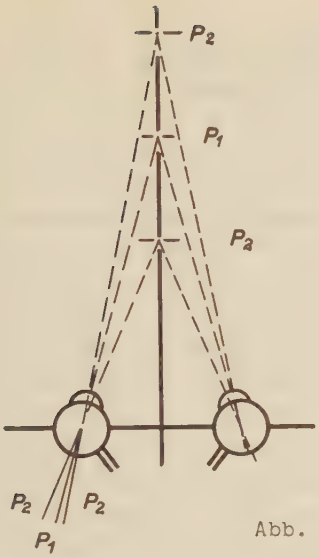


Abb. 2

Fixieren die Augen jetzt diesen näher gelegenen Punkt, dann werden davon ebenfalls korrespondierende Netzhautpunkte gereizt. Jetzt trifft ein entfernterer Punkt Netzhautpunkte, die etwas nasal von den identischen, ein noch näher gelegener Punkt auf solche, die temporal davon liegen. Daher spricht man im ersten Fall von nasaler und im zweiten Fall von temporaler Querdisparation.

Alle Punkte, die bei aufrecht erhaltener Fixation auf korrespondierenden Netzhautpunkten abgebildet werden, liegen in einer Fläche, der Horopterfläche, die unter bestimmten Bedingungen eine frontoparallele Ebene ist, meist jedoch gegenüber dieser eine zum Beschauer konkave oder konvexe Krümmung aufweisen. Alle auf dem Horopter oder der Kernfläche liegende Punkte werden einfach gesehen.

Das Panumsche Areal

Liegen die von vor oder hinter dem Fixierpunkt liegenden Objektpunkten gereizten und damit nicht miteinander korrespondierenden Netzhautpunkte sehr nahe beieinander und innerhalb eines gewissen Bereiches, so tritt kein Doppeltsehen auf, sondern es entsteht ein räumlicher Eindruck. Dieses von PANUM beschriebene Areal wird in einer Ausdehnung von 6 bis 7 Bogenminuten angegeben. TSCHERMAK und HÖFER, sowie auch SACHSENWEGER fanden, daß auch außerhalb des Panumschen Areals abgebildete Punkte noch eine räumliche Vorstellung vermitteln. Bei einer außerhalb der 6 bis 7 Bogenminuten liegenden Querdisparation werden je nach Aufmerksamkeitszu-

wendung zunehmend Doppelbilder gesenen, die jedoch noch eine Tiefenlokalisation ermöglichen.

Die Fusion

Die Verschmelzung von Bildern auf identischen oder innerhalb der Panumschen Areale von einander abweichenden Netzhautbildern im Sehzentrum wird als sensorische Fusion bezeichnet. Davon unterscheiden wir die motorische Fusion. Das sind binokulare Konvergenz- oder Divergenzbewegungen mit dem Ziel einer Abbildung auf identischen Netzhautstellen.
Bei der Stereoskopie im freien Raum sind also sensorische und motorische Faktoren beteiligt, die nur schwer von einander isoliert werden können. Die Möglichkeit, die sensorische Fusion von der motorischen zu trennen ist durch tachistoskopische Beobachtung und durch das Nachbild gegeben.

D a s N a c h b i l d

Das Wesen des Nachbildes

Das Nachbild ist der Ausdruck der dem Lichtreiz noch lange nachhinkenden elektrochemischen Prozesse in der Netzhaut. HERING erklärt sie durch Beeinflussung des Stoffwechsels der Netzhaut durch den Lichtreiz. HELMHOLTZ spricht dagegen von einer lokalen Ermüdung der gereizten Netzhautstelle.

Die Erzeugung des Nachbildes

Wird eine umschriebene Netzhautstelle konstant über längere Zeit hin gereizt, so wird anschließend vom Beobachter ein Nachbild bemerkt. Voraussetzung für die Entstehung eines scharfen Nachbildes ist dabei die konstante Fixation eines bestimmten Punktes. Da dies jedoch über längere Zeit hinweg unmöglich ist und immer feinste, unwillkürliche Blickschwankungen (Oscillationen) ausgeführt werden,

erhält man auf diese Weise nur ein unscharfes Nachbild. Ein scharfes Nachbild kann nur durch kurz dauernde Reizung gewonnen werden. Um aber in dieser Zeit trotzdem die nötige Lichtmenge auf die Netzhaut fallen zu lassen, muß die Belichtung mit sehr großer Beleuchtungsstärke, z.B. einem Elektronenblitz, erfolgen.

Das räumliche Nachbild

Stereoskopische Nachbilder können grundsätzlich auf zwei verschiedene Weisen erzeugt werden: einmal durch eine Fixation eines räumlich ausgedehnten Objektes; zum anderen durch successive Reizung mit stereoskopischen Nachbildern, also Bildern, die um eine unterschiedliche Querdisparation von einander abweichen. Die letzte Methode erlaubt es, räumliche Eindrücke bei der Exposition zu vermeiden und außerdem Vorlagen zu verwenden, die monocular keinerlei räumliche Gliederung erkennen zu lassen.
Über die Möglichkeit, räumliche Unterschiede im Nachbild zu erkennen, liegen schon verschiedene Untersuchungen vor. BRÜCKNER fand, daß eine momentane Belichtung zur Erzeugung eines anhaltenden kräftigen Nachbildes nicht ausreiche und eine Fixationsdauer von 20 bis 30 Sekunden wegen der Blickschwankungen zu Ungenauigkeiten führe und daher nur gröbere Unterschiede in der Tiefenentfernung wahrgenommen werden. WOHLZOGEN beschrieb deutliche stereoskopische Nachbilder, die er durch successive Darbietung stereoskopischer Halbbilder erhielt.
Im Folgenden soll untersucht werden, unter welchen Bedingungen es gelingt, ein räumliches Nachbild durch successiv dargebotene querdisparate Einzelbilder zu erzeugen und wie groß die hierfür erforderliche Querdisparation sein muß.

Eigene Untersuchungen

Versuchsanordnung

Die Voraussetzungen für ein scharfes Nachbild, kurze Belichtungsdauer bei hoher Beleuchtungsdichte auf der Netzhaut, werden am besten durch das Nachbildhaploskop nach SIEBECK erfüllt.

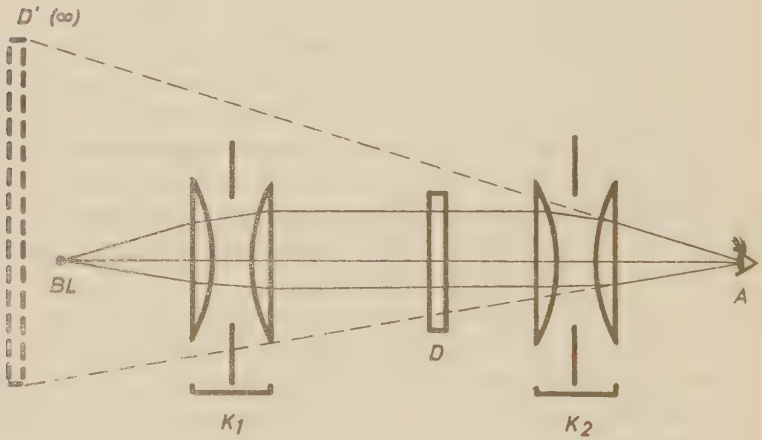


Abb. 3

Dieses Gerät wurde für die orthoptische Behandlung Schielender in großem Gesichtsfeldbereich entwickelt. Es besteht aus einem Elektronenblitz (Bl), der über zwei Kondensorsysteme in der Pupille des beobachtenden Auges abgebildet wird, und somit zu einer homogenen Ausleuchtung der Netzhaut in einem großen Gesichtsfeldbereich führt. Dabei befindet sich der Blitz im vorderen Brennpunkt des 1. Kondensors (K_1), wird also nach Durchgang durch diesen Kondensor im Unendlichen abgebildet. Er beleuchtet von hinten ein Diapositiv (D), welches sich im vorderen Brennpunkt des 2. Kondensors (K_2) befindet. Dieser 2. Kondensor bildet demnach das Diapositiv im

Unendlichen, das im Unendlichen liegende Bild des Elektronenblitzes dagegen in seinem hinteren Brennpunkt ab. Befindet sich die Pupille des beobachtenden Auges in diesem hinteren Brennpunkt, so wird das Bild auf der Netzhaut des Beobachters nach dem Köhlerschen Beleuchtungsprinzip in homogener Ausleuchtung abgebildet. Da sich das Diapositiv außerdem im vorderen Brennpunkt des 2. Kondensors befindet, wird es telezentrisch abgebildet, d.h. Bildschärfe und Bildgröße sind unabhängig von kleinen Lageschwankungen der Beobachterpupille. S. auch Abb. 4.

Da keine für die Nachbildversuche geeigneten stereoskopischen Vorlagen zur Verfügung standen, wurden solche selbst angefertigt. Hierbei wurde auf alle Motive verzichtet, die bereits monokular eine räumliche Vorstellung ermöglichten.

Zur Anwendung kamen drei Motive: 1. drei senkrechte Striche entsprechend dem HERINGschen Dreistäbchenversuch, 2. zwei nicht ganz konzentrische Ringe, 3. ein in einem Dreieck liegender Punkt.

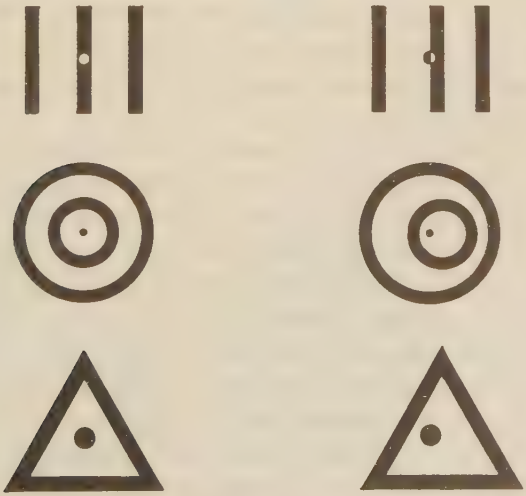


Abb. 4

Dabei waren bei den beiden ersten Figuren jeweils die äußeren Bildteile und die Fixationspunkte auf beiden Bildhälften identisch - zeigten also untereinander keine Querdisparation, während der innere Bildteil (inneres Stäbchen, kleiner Ring) auf beiden Halbbildern querdisparat eingezeichnet wurde. Bei der 3. Figur hingegen wurde lediglich die Querdisparation als Verschiebung des Fixationspunktes gegen den äußeren Rahmen (Dreieck) eingezeichnet. Die Querdisparation wurde asymmetrisch aufgetragen. Gewöhnlich wurde jeweils ein asymmetrisches mit einem symmetrischen Teilbild zur Verschmelzung gebracht. Auf diese Weise gelang die zeichnerische Darstellung sehr kleiner Querdisparationswerte am einfachsten. Außerdem erlaubte die asymmetrische Darstellung mit verhältnismäßig wenigen Einzelbildern auszukommen, da sich die verschiedenen Asymmetrien der Einzelbilder additiv oder subtraktiv kombinieren ließen. Die dadurch entstehende geringe Exzentrizität des fusionierten Gesamtbildes wurde nicht als störend empfunden und nur bei größeren Querdisparationen überhaupt bemerkt.
Als Versuchspersonen dienten 10 (4 männliche, 6 weibliche) Personen, Studenten, Schwestern und Ärzte im Alter von 18 bis 48 Jahren mit Mindestsehschärfe 1,0 auf jedem Auge und normalem binocularen Sehakt. Jeder Vp. wurde jedes der 3 Motive in allen 9 Querdisparationen vorgesetzt, so daß den Ergebnissen insgesamt 270 Einzeluntersuchungen zugrunde liegen.
Die beiden Halbbilder wurden in einem Abstand von etwa ¼ Minute jedem Auge mit dem Blitzhaploskop dargeboten, danach wurde die Nachbildentwicklung im verdunkelten Raum abgewartet. Dabei wurde nicht bei allen Versuchspersonen in gleicher Technik vorgegangen. Bei 7 Versuchspersonen erfolgte die Nachbildexposition im optisch leeren Raum, d.h. die Versuchsperson trug vor beiden Augen gewölbte Mattscheiben; darunter waren die Augen geöffnet. Die Umgebung wurde mit dem Intervallregler von Oculus in rhythmischen Abständen beleuchtet. Eine andere Form der Nachbildentwicklung - bei geöffneten Augen mit Blick auf eine gleich-

mäßig weiße Fläche, die ebenfalls mit Intervallregler beleuchtet wurde, - wurde bei 3 Versuchspersonen angewandt. Schließlich gelang noch bei 4 Versuchspersonen die Nachbildentwicklung bei geschlossenen Augen. Nachdem bei 5 Personen, welchen die Nachbildentwicklung mit allen 3 beschriebenen Methoden gelang, nachgewiesen werden konnte, daß die erzielten Ergebnisse in keiner Abhängigkeit von der Art der Nachbild-Exposition stehen, wurde für jede Versuchsperson die Expositionsform gewählt, mit der die Nachbilder am deutlichsten gesehen wurden.

Berechnung der Querdisparation

Die Querdisparation ist, analog zum Minimum separabile, eine Winkelfunktion, die aber auch als Strecke auf der Netzhaut oder auf einer beliebigen Fixationsfläche ausgedrückt werden kann.

Da in unserer Versuchsanordnung die transparenten Haploskopbilder mit einem Kondensator von 7 cm Brennweite telezentrisch abgebildet wurden (vgl. Abb. 3), waren die Abstände entsprechend einer Beobachtungsebene von 7 cm Abstand zu berechnen.

Bei der telezentrischen Abbildung findet sich das Objekt im vorderen Brennpunkt eines Kondensors, wird also im Unendlichen abgebildet. Für jeden Sehwinkel δ, der den Axialstrahl als einen Schenkel hat, und die ihm entsprechende Strecke s auf der Objektfläche gilt dann die Beziehung

$$s = tg\delta \cdot 7 \text{ cm} .$$

Es waren also alle Querdisparationen so zu berechnen, als ob sie auf eine Fläche in 7 cm Beobachtungsabstand zu beziehen wären.

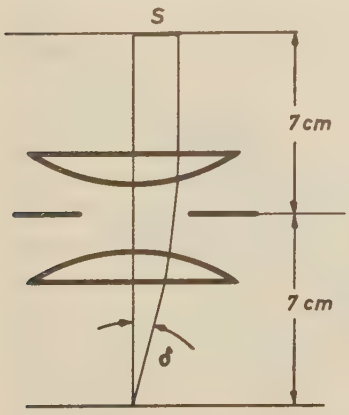


Abb. 5

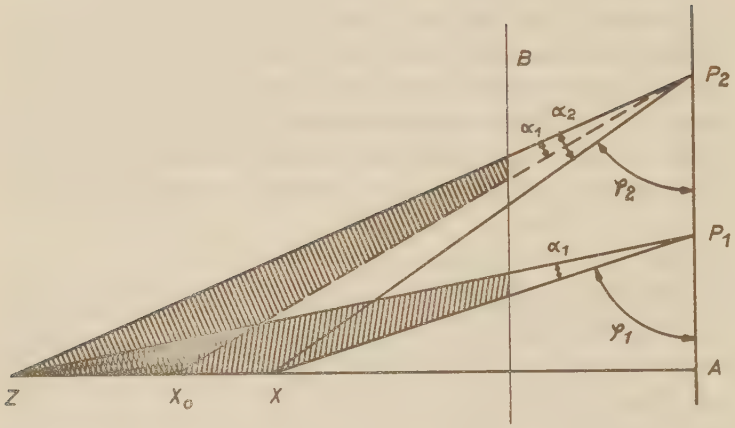

B
P_2
α_2
α_1
φ_2
P_1
α_1
φ_1
A
Z
X_o
X

Abb. 6

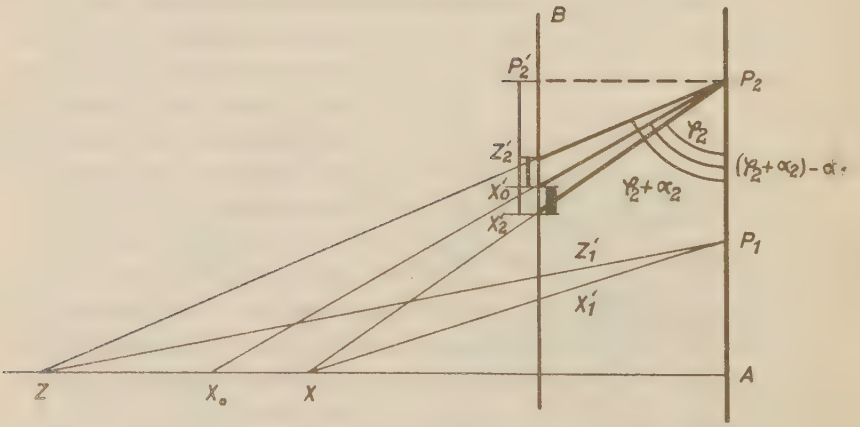

B
P_2'
P_2
φ_2
Z_2'
$(\varphi_2+\alpha_2)-\alpha_2$
X_o'
$\varphi_2+\alpha_2$
X_2'
Z_1'
P_1
X_1'
A
Z
X_o
X

Abb. 7

Ausgegangen wurde von 2 Objektpunkten, welche sich in endlicher Entfernung befinden und einen unterschiedlichen Tiefenabstand von der Beobachterpupille haben (Abb.6). Unter Zugrundelegung der Abb. 6 wurde die Abb. 7 gezeichnet. Darin befindet sich der Winkelbetrag der Querdisparation als Differenz der Winkel α_2 und α_1. Diese Winkel entstehen durch Dreiecke, die gebildet werden vom Fernpunkt Z, Auge P_1 und Nahpunkt X einerseits und Fernpunkt Z, Auge P_2 und Nahpunkt X anderseits. Unter Zuhilfenahme des Hilfpunktes A, der den Abstand des Fernpunktes von der Augenebene manifestiert, entstehen so rechtwinklige Dreiecke XAP_1 und XAP_2, die die Winkel φ_1 und φ_2 und die Winkel $\varphi_1 + \alpha_1$ und $\varphi_2 + \alpha_2$ bilden. Danach lassen sich die Winkel nach folgenden trigonometrischen Funktionen ableiten:

$$tg\,\varphi_1 = \frac{AZ - XZ}{AC - CP_1} \qquad (1)$$

$$tg\,\varphi_1 + \alpha_1 = \frac{AZ}{AC - CP_1} \qquad (2)$$

$$tg\,\varphi_2 = \frac{AZ - XZ}{AC + CP_2} \qquad (3)$$

$$tg\,\varphi_2 + \alpha_2 = \frac{AZ}{AC + CP_2} \qquad (4)$$

Die Winkelgröße (Delta) der Querdisparation beträgt

$$\delta = \alpha_2 - \alpha_1 \qquad (5)$$

Projiziert man den kleineren Winkel α_1 zeichnerisch in den größeren Winkel α_2 im Punkte P_2, so läßt sich der Differenzbetrag veranschaulichen. Gleichzeitig ergibt sich dadurch der Hilfspunkt X^o.

Betrachtet man nunmehr auf Abb. 7 nur die Winkel in P_2 und ihre Projektionen auf die Bildebene B (die dem Diapositiv im Versuchsgerät entspricht), so ergeben sich folgende Strecken $X_2'Z_2'$, $X_o'Z_2'$, $X_2'X_o$, sowie die Strecken, die durch diese Punkte mit dem Hilfspunkt P_2' gebildet

werden, in dem sich zwischen der Bildebene und der Strekke P_2P_2' ein rechter Winkel bildet. Unter Ausnutzung der sich ergebenden rechtwinkligen Dreiecke können folgende Funktionen abgeleitet werden:

$$\cot \varphi_2 = \frac{Z_2'P_2}{P_2P_2} \qquad (6)$$

$$\cot \varphi_2 + (\alpha_2+\alpha_1) = \cot (\varphi_2+\delta) = \frac{X_o-P_2}{P_2P_2'} \qquad (7)$$

$$\cot (\varphi_2+\alpha_2) = \frac{Z_2'P_2'}{P_2P_2'} \qquad (8)$$

oder

$$X_2'P_2' = P_2P_2' \cdot \cot \varphi_2 \qquad (6a)$$

$$X_o'P_2' = P_2P_2' \cdot \cot (\varphi_2+\delta) \qquad (7a)$$

$$Z_2P_2' = P_2P_2' \cdot \cot (\varphi_2+\alpha_2) \qquad (8a)$$

δ entspricht der Strecke $X_2'X^{o'}$

$$X_2'X_o' = X_2'Z_2' - X_o'Z_2' \qquad (9)$$

$$X_2'X_o' = X_2'P_2' - X_o'P_2' \qquad (10)$$

Auf dieser Grundlage wurden für 9 Querdisparationswinkel die entsprechenden linearen Abstände berechnet (Tabelle) und bei der Zeichnung von Haploskopbildern zugrundegelegt. Wegen der geringen Größe der Querdisparation wurden die Vorlagen aus Gründen der Genauigkeit im Maßstab 5 : 1 gezeichnet. Später wurden die Bilder fotografisch wieder auf das Originalmaß verkleinert.

Sowohl im Stereoskop als auch im freien Raum gelang es ohne weiteres, diese stereoskopischen Einzelbilder zu einem räumlichen Gesamtbild zu vereinigen. Voraussetzung für die Fusion der beiden einäugigen Wahrnehmungen ist intaktes Binokularsehen.

Wertetabelle:

Anguläre Querdisparation	Lineare Querdisparation
1' 53"	0,04 mm
6' 5"	0,08 "
8' 11"	0,17 "
10' 20"	0,215 "
12' 32"	0,26 "
17' 3"	0,355 "
21' 45"	0,46 "
34' 27"	0,73 "
48' 47"	1,035 "

Gang der Untersuchung

Jeder Versuchsperson wurde zunächst das Motiv I oder II in einer Querdisparation von 8' 11" angeboten, wobei die Belichtung des rechten und linken Auges im Abstand von 30 sec. erfolgte, bis nämlich der Kondensator des Elektronenblitzes wieder aufgeladen war, und vermittels einer der oben beschriebenen Nachbildexpositionen die Entwicklung der Nachbilder abgewartet. Von allen Personen wurde der mittlere Bildteil im Nachbild als räumlich verschieden, also vor oder hinter dem äußeren liegend, erkannt. Nach dieser orientierenden Voruntersuchung wurden die eigentlichen Untersuchungen angeschlossen. Dabei wurden den Versuchspersonen die Motive I und II in allen 9 Querdisparationen, sowie das Motiv III in den Querdisparationen von 8' 11" und 10' 20", nacheinander exponiert. Zwischen den einzelnen Versuchen mußten

mindestens 15 min. verstreichen, um das Abklingen des alten Nachbildes abzuwarten. Eventuell störende Nachbilder des vorher geblitzten Motivs wurden damit weitgehend vermieden. Auch wurden die unterschiedlichen Motive immer abwechselnd eingeblitzt. Dadurch konnten Vergleiche zwischen Motiv I und II in der gleichen Querdisparation gezogen werden. Nach successiver Exposition der beiden Halbbilder hatte Vp. anzugeben:

wann, vom zweiten Blitz an gerechnet, das Nachbild und wann der räumliche Effekt im Nachbild einsetzt,

welche Beziehungen zwischen den Beleuchtungsphasen beim Intervallregler und der Nachbildqualität bestehen

wielange der räumliche Eindruck und das Nachbild selbst anhalten

bei welchen Figuren ein räumliches Nachbild erkennbar ist.

Durch Darbietung der gleichen Motive in verschiedener Querdisparation wurde außerdem versucht, die Schwelle für den räumlichen Effekt im Nachbild zu ermitteln, ferner die obere Grenze der Querdisparation, bei der die Halbbilder noch zu einem räumlichen Eindruck fusioniert werden, und wann schließlich Doppelbilder auftreten.

E r g e b n i s s e

Dauer bis zum Eintritt der Nachbilder

3 - 5 sec. nach Exposition entwickelt sich das Nachbild, zunächst ohne räumlichen Effekt. 30 - 90 sec. nach Belichtung des zweiten Augen erscheint, oft plötzlich, das Nachbild räumlich, wobei die Tiefenausdehnung zunimmt. Nach 60 - 90 sec. ist die größte Tiefenwirkung erreicht, die dann minutenlang anhält. 3 Vpn, darunter die Verf., sahen die Nachbilder zunächst ohne räumlichen Effekt. Erst nach 80 - 90 sec. wurde ganz plötzlich ein deutliches räumliches Nachbild gesehen.

Abhängigkeit des räumlichen Nachbildes von der Art der Beleuchtung

Vermittels des Intervallreglers von Oculus wurde abwechselnd eine Hell- und eine Dunkelphase erzeugt. Innerhalb dieser Periodik konnten die Phasen mit unterschiedlicher Dauer eingestellt werden.
Zunächst wurde ein Tiefeneindruck im Nachbild während der Dunkelphase früher und deutlicher gesehen. Nachdem nach 90 sec. das Maximum an Plastizität im Nachbild erreicht war, sahen 80 % der Versuchspersonen das plastischere Nachbild jeweils während der kürzeren Phase, unabhängig davon ob Hell- oder Dunkelphase, wobei das Nachbild während der längeren Phase zwar auch räumlich, aber weniger deutlich gesehen wurde. Die Mindestdauer der kürzeren Phase muß dabei 1/2 bis 3/4 sec. betragen. Wird sie unterschritten, so wird ein undeutliches, bzw. gar kein Nachbild bemerkt. Der deutlichste Tiefeneindruck entsteht bei einer Phasendauer von 3/4 bis 1 1/2 sec. Dauert die Phase länger, so lässt der Tiefeneindruck nach. Diese zunehmende Verflachung bei längerer Betrachtung beschrieb auch HERING am realen räumlichen Objekt.

Dauer des Nachbildes.

Das Nachbild als solches wurde bis zu 20 min. und länger, vom Zeitpunkt der Exposition an, von den Versuchspersonen bemerkt. Während dieser Zeit wurde der räumliche Eindruck im Nachbild, nach Eintritt desselben, 3 bis 5 min. lang gesehen. Daran anschließend wurde das Nachbild rasch zunehmend flacher.
Der räumliche Eindruck im Nachbild entsteht also später als das Nachbild selbst und verschwindet eher.

Abhängigkeit der Plastizität des Nachbildes vom Motiv

Ein Vergleich der räumlichen Nachbilder von den 3 Motiven entsprechend Abb. 7 ergab, daß die Nachbilder von Motiv II (2 concentrische Ringe, die in unterschiedlicher Tiefe erscheinen) den deutlichsten räumlichen Effekt erkennen

lassen. Die Nachbilder von Motiv I (Hering`scher 3 Stäbchenversuch) werden ebenfalls deutlich räumlich gesehen, doch erscheinen sie nicht ganz so plastisch wie das Motiv II. Die Nachbilder von Motiv III, (einem kleinen Punkt innerhalb eines Dreiecks) wurde nur von 2 Versuchspersonen räumlich wahrgenommen. Dafür ist wohl das minderwertige Nachbild des sehr kleinen mittleren Punktes verantwortlich, das infolge Überstrahlung bereits nach 1 1/2 Minuten, wenn also normalerweise der räumliche Eindruck erst sein Maximum erreicht, verblasst und nach 3 Minuten bereits ganz verschwunden ist. Eine Abhängigkeit des Eintrittes und der Dauer des räumlichen Eindruckes von der Wahl des Motives konnte nicht festgestellt werden.

Abhängigkeit der Plastizität der Nachbilder von der Größe der Querdisparation

Als niedrigste Querdisparation wurde ein Winkel 1' 53" untersucht. Das ist recht viel, doch gelang es nicht, Halbbilder mit kleinerer Querdisparation nach der oben beschriebenen Methode zu zeichnen. Es zeigte sich aber, daß die Querdisparation von 1' 53" wahrscheinlich als Schwellenwert aufgefasst werden kann. 50 % der Versuchspersonen beurteilte die Nachbilder beider Motive in dieser Querdisparation räumlich richtig. Die andere Hälfte sah entweder das Nachbild nicht räumlich oder beurteilte die Räumlichkeit falsch. Die nächst größere Querdisparation von 6' 5" übermittelte bereits bei allen Versuchspersonen ein deutlich räumliches Nachbild. Der räumliche Eindruck verstärkte sich mit zunehmender Querdisparation, und auch Nachbilder mit einer Querdisparation von 21' 45" werden noch von allen Versuchspersonen als äußerst plastisch erkannt. Auch eine Querdisparation von 34' 27" vermittelt noch bei 70 % unabhängig vom Motiv einen räumlichen Eindruck ohne Doppelbilder. Dagegen stellt der Wert der Querdisparation von 48' 47" einen Grenzfall dar. Bietet man die Hering`schen 3 Stäbchen in

dieser Querdisparation an, so werden im Nachbild Doppelbilder des mittleren Stabes ohne plastischen Eindruck gesehen. Zwar überlagern sich die Doppelbilder des mittleren Stabes etwas zu einem kontraststärkeren Mittelstrich, während rechts und links davon die schwächeren Seitenkonturen zu sehen sind, doch konnte von den Versuchspersonen ein plastischer Eindruck dabei nicht angegeben werden. Wird dagegen Motiv II in dieser Querdisparation angeboten, so sieht man im Nachbild zunächst ebenfalls Doppelbilder; jedoch gewinnt man nach 2 bis 3 Minuten einen zunehmenden räumlichen Eindruck: Man hat förmlich den Eindruck, daß der innere Ring sich mehr und mehr aus der Ebene des äusseren Ringes entfernt. Dabei zeigt es sich, daß die zunächst bemerkten Doppelbilder in dem Maße verschwinden, wie sich der plastische Eindruck vertieft. Man gelangt zu der Vorstellung, daß die Doppelbilder im Wettstreit zum räumlichen Sehen stehen, daß jedoch nach einer kurzen Zeit, wo räumlicher Eindruck und Doppelbilder gleichzeitig bemerkt werden, der räumliche Eindruck dominiert und die Doppelbilder vollständig verschwinden. Bei realen räumlichen Objekten ist dagegen auch bei Doppeltsehen ein deutliches räumliches Sehen möglich. Außerdem zeigt sich an dieser Beobachtung, daß das Motiv der beiden Ringe bessere räumliche Vorstellungen im Nachbild ermöglicht. Bietet man die Halbbilder in noch größeren Querdisparationen an, so werden regelmäßig, auch bei Motiv II, Doppelbilder ohne später zunehmenden räumlichen Eindruck angegeben.

Tabellarische Zusammenstellung der Versuchsergebnisse:

Querdisparation	Motiv I				Motiv II				Motiv III	
	kein räumlicher Eindruck	schwacher räumlicher Eindruck	guter räumlicher Eindruck	sehr guter räumlicher Eindruck	kein räumlicher Eindruck	schwacher räumlicher Eindruck	guter räumlicher Eindruck	sehr guter räumlicher Eindruck	kein räumlicher Eindruck	schwacher räumlicher Eindruck
$0^{o}\ 01'\ 53''$	6 -	4 +			5 -	5 +			10 -	
$0^{o}\ 06'\ 05''$		10 +				10 +			10 -	
$0^{o}\ 08'\ 11''$		10 +				7 +	3 ++		10 -	
$0^{o}\ 10'\ 20''$		6 +	4 ++			1 +	9 ++		8 -	2 +
$0^{o}\ 12'\ 32''$		2 +	8 ++			1 +	3 ++	6 +++	10 -	
$0^{o}\ 17'\ 03''$		1 +	8 ++	1 +++			3 ++	7 +++	8 -	2 +
$0^{o}\ 2'\ 45''$			3 ++	7 +++			1 ++	9 +++	10 -	
$0^{o}\ 34'\ 26''$	4 *)			6 +++	2 *)			8 +++	10 -	
$0^{o}\ 48'\ 47''$	10 *)				6 *)			4 **)	10 -	

*) Doppelbilder

**) nach anfänglicher Wahrnehmung von Doppelbildern Übergang zu sehr gutem räumlichen Eindruck

D i s k u s s i o n

Wenn man räumliche Nachbilder durch successive monoculare Exposition haploskopischer Halbbilder erzeugt, ist die Schwelle der für einen räumlichen Nachbildeindruck erforderlichen Querdisparation erheblich höher als bei binocularer Beobachtung stereoskopischer Vorlagen. Entsprechendes fanden HERING, MONJE, WAGNER und VILMAR bei tachistoskopischer Darbietung von binocular gesehenen räumlichen Objekten. Während bei optimalen Bedingungen schon Querdisparationen von 5 bis 10" einen Tiefenunterschied sichtbar machen, wird nach unseren Untersuchungen erst bei einer Querdisparation von 1,9' in der Hälfte der Versuche ein räumliches Nachbild gesehen. Auch liegt der Schwellenwert für die Wahrnehmung von Doppelbildern im Nachbild nach kurzzeitiger Darbietung zweier querdisparater Vorlagen bei wesentlich höheren Querdisparationswerten. Während nach den Versuchen von TRENDLENBURG und DRESCH bei sehr feinen realen Gegenständen mit einer Querdisparation 4' bereits Doppelbilder angegeben wurden, wurden im Nachbild erst bei einer Querdisparation von 34,4' Doppelbilder bemerkt. Wenn für das stereoskopische Sehen mit Nachbildern höhere Querdisparationsschwellen bestehen als für das stereoskopische Sehen unter gewöhnlichen Beobachtungsbedingungen, so erscheint dies ein weiterer Beweis für die große Bedeutung, die dem Bewegungsapparat für das räumliche Sehen zukommt. Auch ein stereoskopisches Bild wird im allgemeinen nicht fixiert, sondern mit bewegtem Blick beobachtet. Hierbei treten aber grundsätzlich andere Bedingungen hinzu. Solange die Blickbewegungen bei gleichbleibendem Konvergenzwinkel erfolgen, werden Objektpunkte, die sich in der Horopterfläche befinden, gleichzeitig auf korrespondierenden Netzhautstellen abgebildet; dagegen werden Objektpunkte, die sich außerhalb der Horopterfläche befinden, gleichzeitig auf querdisparaten Netzhautstellen, dagegen mit zeitlicher Verschiebung auf identischen Netzhautstellen abgebildet. Dieser zeitlichen Verschiebung durch die Bewegung des Auges kommt aber nach GRÜSSER eine große Bedeutung für das stereoskopische Sehen zu.

Daß der räumliche Eindruck im Nachbild nicht mit dem Nachbild gleichzeitig sondern rund 1 min. später bemerkt wurde, dürfte darin begründet sein, daß das binoculare Tiefsehen eine zentral höher differentierte Wahrnehmungsleistung ist als das Erkennen von Nachbildern.
Analog den Beobachtungen von HERING, sowie auch HELMHOLTZ und EBBECKE, die am realen Objekt eine Verflachung der Plastizität bei längerem Fixieren bemerkten, fand sich auch im Nachbild eine zunehmende Verflachung bei längerem Betrachten in unveränderter Beleuchtungsqualität. Als Erklärung hierfür wäre die Unmöglichkeit der Auffrischung des Tiefeneindrucks durch feine Blickbewegungen zu nennen. Damit tritt eine gewisse Lokaladaption der gereizten Netzhautstellen ein. Eine dauernde Neustimulierung durch die abwechselnden Hell- und Dunkelphasen des Intervallreglers wirkt dem entgegen.
Es kann also aus den Ergebnissen gefolgert werden, daß unter geeigneten Voraussetzungen räumliche Nachbilder gesehen werden, daß jedoch die dazu notwendige Querdisparation eine relativ hohe Winkelgröße haben muß. Der Grad der Plastizität ist von der Größe der Querdisparation abhängig. Wird der obere Schwellenwert überschritten, so treten Doppelbilder auf, die keine räumliche Tiefenlokalisation mehr ermöglichen. Es ist im Nachbild nicht möglich Doppelbilder und Tiefeneindruck gleichzeitig wahrzunehmen; vielmehr steht beides im Wettstreit miteinander.

Z u s a m m e n f a s s u n g

Durch successive monoculare Darbietung haploskopischer Halbbilder mit dem Blitzhaploskop nach SIEBECK wurden bei 10 Vpn mit normalem binocularen Sehen räumliche Nachbilder erzeugt. Bei einer Querdisparation von 1,9' wurden bei der Hälfte der Versuche räumliche Nachbilder gesehen, bei größeren Querdisparationen in allen Versuchen. Erst bei einer Querdisparation von mehr als 34,4' wurden die Nachbilder doppelt gesehen - doch auch dann trat noch gelegentlich Verschmelzung mit deutlicher Tiefenlokalisation der querdisparaten Bildteile auf. Diese Ergebnisse werden als erneute Bestätigung der großen Bedeutung des Bewegungsapparates für das räumliche Sehen gewertet.

Literaturverzeichnis

BEST, F. — Der Panum-Effekt, Albr.v.Graefes Archiv f. Ophth., 160 (1958). Springer-Verlag Berlin-Göttingen-Heidelberg, J.F. Bergmann München. S. 247-263

BRECHER, G. — Form und Ausdehnung der Panum'schen Areale bei focealem Sehen. Pflügers Archiv 246, 48 (1942), S. 315-328. Springer-Verlag, Berlin-Göttingen-Heidelberg.

BRÜCKNER, A. — Der stereoskopische Effekt im Nachbild Ophthalmologica, 132 Basel (1956), S.57-59

COMBERG, W. — Der Lichtsinn. Kurzes Handbuch d. Ophth. v. SCHIECK-BRÜCKNER, Bd. II, Berlin Verlag von Julius Springer (1932)

DITTLER, R. — Physiologie des optischen Raumsinnes. Ebenda

PYCKERHOFF, D. u. R. SIEBECK — Messungen des Raumbildes bei Haploskopbildern gleicher und ungleicher Helligkeit Graev. Archiv 154, Hft. 6 (1954). S. 637

FLEISCHER, E. — Die physiologischen Grundlagen des Tiefensehens. Ophthalmologica, Bd. 122, Basel (1951), S. 91-105

Die Querdisparation als physiologische Grundlage des binokularen Sehens. Zschr. f. Psychologie, 147, (1939), S. 65-132

HELMHOLZ, H.v. — Handbuch der physiologischen Optik, Bd. II u. III, 3. Auflage. Verlag von Leopold Voss Hamburg und Leipzig (1910)

HERING, E. — Grundzüge der Lehre vom Lichtsinn in GRAEFE-SAEMISCH Hdb. d. Augenheilkunde, 2. Aufl., Bd. III, Berlin, Verlag von Julius Springer (1925)

HESS, C.v. — Über die nach kurzzeitiger Reizung des Sehorgans auftretenden Nachbilder, Pflügers Archiv, 49 (1897), S. 49

HOFMANN, F.B. — Der Raumsinn in GRAEFE-SAEMISCH Hdb. d. Augenheilkunde, 2. Aufl., Bd. III. Berlin Verlag von Julius Springer (1925)

KÖNIG, — Physiologische Optik. Akadem. Verlags-Gesellschaft M.B.H., Leipzig (1929)

LINSCHOTEN, J. — Strukturanalyse der binokularen STiefenwahrnehmungen, Groningen J.B. Wolter-Verlag (1956) u. Verlag für Psychologie Dr. C.J. Hegrefe 1956 XIX Göttingen

METZGER, W. Gesetze des Sehens
Verlag von Waldemar Kramer, Frankfurt/Mair (1953)

MONJE, M. Über die Abhängigkeit des Stereoeffektes vom Grad der Helladaption, Pflügers Archiv 247, (1947), S. 280-294

Die Abhängigkeit der Sehschärfe von der Darbietungszeit 55. Zus.kunft Dtsch. Ophth Gesellsch. Heidelberg 1949, S. 270

PANUM, Physiologische Untersuchung über das Sehen mit zwei Augen. Kiel, Schwers-Verlag (1858)

Über die einheitliche Verschmelzung verschiedenartiger Netzhauteindrücke beim Sehen mit zwei Augen. R icherts u. Du Bois`Archiv f. Physiologie 1861, S. 63

PAULI, W.E. u.R. Physiologische Optik
Verlag v. Gustav Fischer, Jena (1918)

PULFRICH, C. Stereoskopisches Sehen und Messen
Fischer-Verlag, Jena (1911)

Die Stereoskopie im Dienst der isochromen u. heterochromen Photometrie
Naturwissenschaft, X. Berlin, Julius-Springer-Verlag (1922), S. 553

ROHR, M.v. Das Sehen
WINKELMANN`s Handbuch der Physik, 2. Aufl. Bd. VI, (1904)

SACHSENWEGER, R. Untersuch. über das Verhältnis des stereoskopischen Sehens zu den Panum'schen Arealen.
59. Zusammenkunft d. Dtsch. Ophth. Gesellschaft, Heidelberg, IX, 1955, S. 5-7

Physiologie und Klinik der Anomalien des stereoskopischen Sehens.
Wissenschaftl. Zschr. d. Univ. Leipzig, mathem.-naturwissenschaftl. Reihe, Bd. 8, (1958/59)

und ZIMMERMANN, Experimentelle und klinische Untersuchungen d. stereoskopischen Raumes
Noca Acta Leopoldina, Neue Folge Nr. 136, Bd. 20, Ambrosius-Barth-Verlag, Leipzig (1958)

SCHOBER, H. Das Sehen, B. I u. II
Fachbuchverlag Leipzig (1950 und 1954)

SIEBECK, R. Die Optik des menschlichen Auges
Springer-Verlag, Berlin-Göttingen-Heidelberg (1960)

SIEBECK, R. Akkommodation u. binokularer Sehakt.
Sammlung zwangloser Abhandlung aus dem Gebiet der Augenheilkunde, Heft 12, 1957

SIEBECK, R. u. KLEMM, E. — Ermüdungserscheinungen bei erzwungener monokularer Dominanz im binokularen Sehakt. Graeves Archiv. 155, Hft. 4 (1954), S. 4 13

STUDNITZ, G.v. — Physiologie des Sehens Adademische Verlagsgesellschaft, M.B.H. Leipzig, (1940)

TRENDLENBURG, W. — Der Gesichtssinn (Lehrbuch d. Physiologie) 2. Aufl., Springer-Verl., Berlin-Göttingen Heidelberg, (1961)

TSCHERMAK, A. — Optischer Raumsinn, Handb. d. norm. u. patholog. Physiologie, herausgegeben von A. Bethe u.a., Berlin (1931)

Einführung in die phsysiolog. Optik in Augenheilkunde der Gegenwart J.F. Bergemann, München und Springer-Verlag Berlin und Wien (1942)

und HOEFER, P. — Über binokulare Tiefenwahrnehmungen auf Grund von Doppelbildern. Pflügers Archiv f. d. gesamte Physiologie, Bd. 98, (1903), S. 299

VELHAGEN, K. — Der Augenarzt, Bd. I Georg Thieme-Verlag, Stuttgart (1958)

VILMAR, K.-F. — Die Zeitschwelle der Tiefensehschärfe in der Netzhautperipherie Klin. Monatsbl. f. Augenheilkunde, 117, Stuttgart (1950), S. 242-248

WAGNER, E. — Die Zeitschwelle der Tiefensehschärfe Klin. Monatsbl. f. Augenheilkunde, 114, Stuttgart (1949), S. 557-562

WILDE, K. — Der Punkt-Reiheneffekt und die Rolle der binokularen Querdisparation beim Tiefensehen Psychologische Forschung, Bd. 23, (1950), S. 223-262

Das Panum-Phänomen und die Entstehung der Kernebene Zschr. f. experiment. u. angewandte Psychologie, Bd. 4 (1957), S. 1-30

WOHLZOGEN, F.X. — Die Entstehung sterischer Nachbilder Experimentia, Basel, B. 8, (1952), S. 194

L e b e n s l a u f

Am 13. Sept. 1936 wurde ich, Uta-Barbara Reek, geb. Irmscher in Markkleeberg b. Leipzig als erstes Kind des damaligen Lehrers Horst Irmscher und der Hausfrau Ursula Irmscher, geb. Sturm geboren.
1942 wurde ich an der Volksschule Markkleeberg eingeschult, die ich 1950 verließ.
Von 1950 bis zur Reifeprüfung 1954 besuchte ich die Rudolf-Hildebrand-Oberschule in Markkleeberg. Von 1954 bis 1955 arbeitete ich als Laborpraktikantin im St.-Elisabeth-Krankenhaus Leipzig und im Pathologischen Institut der Universität Leipzig. 1955 wurde ich an der Universiät Leipzig für die Medizinische Universität immatrikuliert.
Nachdem ich 1957 das Physikum bestanden hatte, beendete ich am 4. November 1960 das Staatsexamen mit der Note gut.
Vom 1. Dezember 1960 bis 30. Juli 1961 war ich am Kreiskrankenhaus Annaberg-Buchholz als Pflichtassistentin auf der Inneren Abteilung tätig.
Seit dem 31. Juli 1961 befinde ich mich in der Bundesrepublik. Ich hatte mich nach den Ereignissen des 13. August 1961 entschlossen, von meinem Urlaub nicht wieder nach Annaberg zurückzukehren.
Vom 4. September 1961 bis 31. Mai 1962 war ich an der Chirurgischen Abteilung und vom 1. Juli bis 31. Oktober 1962 auf der Gynäkologisch-Geburtshilflichen Abteilung des Krankenhauses Oststadt in Hannover als Medizinalassistentin tätig.
Vom 1. November 1962 bis 4. Januar 1963 arbeitete ich als Medizinalassistentin an der Universitäts-Augenklinik in Erlangen. Seitdem ich am 4. Januar 1963 die Bestallung als Arzt erhalten hatte, bin ich bis heute an eben dieser Klinik als Assistenzärztin tätig.

Buchdruck und Fotodruck: Ludwig Müller, Erlangen, Fahrstraße 5